

Mantos eólicos en la costa septentrional de Menorca: naturaleza y distribución

José Á. Martín Prieto^{1,2}, Guillem X. Pons^{1,2,3}, Francesc X. Roig-Munar⁴, Pere Fraga³, Antonio Rodríguez-Perea^{1,2}, Bernadí Gelabert^{2,5} y Miquel Mir-Gual^{1,2}

¹ Departament de Geografia, Universitat de les Illes Balears, Palma grupo de investigación BIOGEOMED.

² Societat d'Història Natural de les Balears, Palma.

³ Institut Menorquí d'Estudis, IME, Maó.

⁴ Q4atre Consultoria Ambiental, Es Migjorn Gran.

⁵ Departament de Biologia, Universitat de les Illes Balears, Palma.

RESUMEN

Han sido analizados un total de 11 mantos eólicos de Menorca (Islas Baleares). Su principal característica es que todos ellos están ubicados en la costa norte de la isla. Pueden agruparse en tres tipos principales: los relacionados con los acantilados verticales, los relacionados con lechos de torrentes, y un tercer tipo intermedio con características de ambos grupos anteriores, que corresponde a torrentes colgados. La génesis y la evolución pueden estar relacionadas con la erosión mecánica y/o movimientos verticales asociados con el nivel del mar eustático en el Holoceno.

Palabras clave: mantos eólicos, Pleistoceno superior - Holoceno, acantilados, torrentes, Menorca.

ABSTRACT

Eleven aeolian sand sheets have been studied on the island of Menorca (Balearic Islands). Their principal feature is that they are all located on the north coast of the island. They can be grouped into three main types: those related to vertical cliffs, those related to stream channels, and a third intermediate type with characteristics of both previous groups, which corresponds to hanging channels in the mouths. The genesis and evolution can be related to mechanical erosion and/or vertical movements associated with eustatic sea levels in the Holocene.

Keywords: Aeolian sand sheets, Upper Pleistocene - Holocene, cliffs, gullies, Menorca.

1 | Introducción

La mayoría de los sistemas dunares activos y depósitos eólicos de la isla de Menorca han sido descritos a lo largo de las últimas décadas (Rita *et al.*, 1988; Servera, 1997; Cardona *et al.*, 2004; Roig-Munar *et al.*, 2006; Fornós *et al.*, 2007 y 2008). No obstante, hace unos años se observó que había unos depósitos sedimentarios no descritos en las Baleares. se han sido analizados un total de once depósitos sedimentarios (Fig. 1), mantos eólicos, generados por la acción del viento, de diferentes extensiones y alturas, que en conjunto ocupan una extensión total de 4.936.387 m² y que presentan interés debido a su particular situación, ya que están desvinculados de la fuente de alimentación sedimentaria que los alimenta (Fraga *et al.*, 2012; Pons *et al.*, 2012). Si bien se han definido once unidades de estudio, algunas de ellas se encuentran fragmentadas en otras unidades más pequeñas como Santa Teresa, Punta des Pare Fra Bernat y sa Mesquida, por lo que en total tenemos 16 áreas de estudio (Tabla 1).

Un aspecto notable de estos depósitos, es que todos se sitúan a la costa de N de la isla (Fig. 1). En general presentan acumulaciones de arena, sin definir morfologías dunares claras, excepto el manto situado en sa Marina de s'Arena, que presenta pequeñas formaciones parabólicas (Roig-Munar *et al.*, 2008a) y en algunos casos con vegetación psamófila, como *Euphorbia paralias* (Punta des Pare Fra Bernat), *Pancratium maritimum* (Punta des Pare Fra Bernat y sa Mesquida) o *Lotus cytisoides*, que lo hace sobre varios mantos (Fraga *et al.*, 2012), lo que demuestra un cierto dinamismo en alguno de ellos.

Si bien es cierto que la mayoría de ellos aparecen cartografiados en los mapas geológicos (Bourrouilh, 1983), estos quedan oscurecidos por la magnitud de la geología que los rodea. Su

ubicación, lejos de carreteras, núcleos urbanos u otro asentamiento humano, ha facilitado que hasta ahora no se realizase ningún tipo de descripción ni análisis. Otro posible motivo de la falta de estudios puede deberse a la prácticamente poca explotación económica, frente a la importancia socio-económica de los sistemas playa-duna.

Los mantos eólicos desvinculados de la línea de costa, constituyen depósitos eólicos semiestabilizados o estabilizados en la mayoría de ellos, formados de material no consolidado, situados sobre promontorios rocosos, compuestos por diferentes materiales que van desde Carbonífero a Triásico, Jurásico, Cretácico y Mioceno. La mayoría de estos promontorios están coronados por eolianitas cuaternarias, sobre las cuales se desarrollan la mayoría de estos depósitos eólicos.

Las eolianitas son un rasgo distintivo del registro sedimentario del Pleistoceno (Abegg, *et al.*, 2001; Brooke, 2001; Fornós *et al.*, 2002a; Andreucci *et al.*, 2006; Andreucci *et al.*, 2010a). Estos depósitos pueden ser datados con precisión (Frenchen *et al.*, 2004) y pueden ser usados para evaluar relaciones con otros depósitos como terrazas marinas, paleosuelos, depósitos aluviales y coluviales, para obtener información paleoclimática, incluido oscilaciones del nivel del mar o evolución del paisaje (Carew y Mylroie, 2001; Coltori *et al.*, 2010; Elmejdoub *et al.*, 2011; Kindler y Mazzolini, 2001). Los depósitos pleistocenos han sido ampliamente estudiados en la vecina isla de Mallorca (Cuerva, 1989; Fornós *et al.*, 2005, 2009, 2012; Clemmensen *et al.*, 1997; Clemmensen *et al.*, 2001). Sin embargo, en la isla de Menorca apenas existen estudios en este campo. Rosell y Llompart (2002) señalan varios afloramientos de cordones de dunas consolidadas a diferentes alturas sobre acantilados, algunos de ellos afectados por la tectónica reciente. También la tesis de Pomar (2016) da un salto substancial en el conocimiento de estos sistemas dunares. Pons *et al.* (2017) realizan una aproximación al conocimiento de los depósitos cuaternarios desde el punto de vista paleontológico.

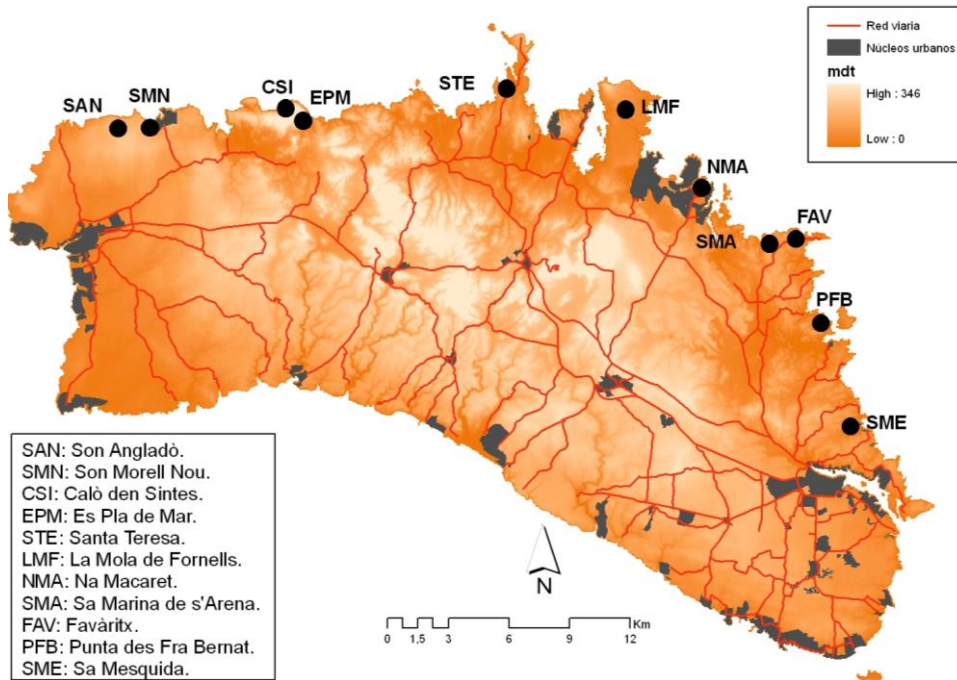


Figura 1. Localización de los mantos eólicos.

Figure 1. Aeolian sand sheet location.

	Superficie (m ²)	Litología	H acant. (m)	Tipología	H. máx. (m)	H. mín. (m)
SAN	470.884	Mioceno	67	Acantilado	106.2	77.6
SMN	188.273	Mioceno	72	Acantilado	80.4	74.1
CSI	12.457	Triásico inf.		Torrente	66	36
EPM	28.042	Pérm./Cuatern		Torrente	21,5	4.4
STEA	93.295	Jurásico inf.	29	Acantilado	35	10
STEB	4.305	Jurásico inf.		Torrente	12,3	1,9
LMF	4.133.310	Jurás./Cretac.	51	Acantilado	76.3	13.6
NMA	315.906	Jurás./Cuat.	10	Acantilado	25	12
SMA	67.368	Carbonífero	56	Acantilado	69,3	30,8
FAV	20.340	Carbonífero	10	Torrente	38.9	15
PFBa	8.193	Carbon./Cuat.		Torrente	32.1	15
PFBb	23.193	Carbon./Cuat.	18	Acantilado	42.1	15.2
SMEa	30.345	Carbonífero	9	Acantilado	45.2	2.6
SMEb	11.360	Carbonífero	11	Torr. colg.	48.3	32.2
SMEc	9.270	Carbonífero	10	Torr. colg.	42.2	15
SMEd	21.484	Carbonífero		Torr. colg.	42.2	35.1
Media	362.535				15	9
Total	4.936.387					

Tabla 1. Datos generales de los mantos eólicos. H. Máx. y H. Mín., significa las alturas máxima y mínima entre la que se desarrolla el manto eólico. En cursiva, la altura de los torrentes colgados.
Table 1. *Aeolian sand sheet main attributes. H. Max. and H Min. refer to the maximum and minimum height where the Aeolian sand sheets can be found. Perched streams height in italics.*

2 | El marco geológico

Tanto desde un punto de vista geológico como geomorfológico el relieve menorquín está fuertemente condicionado por la estructura y una evolución reciente de tiempos cuaternarios, desde la fracturación del *Migjorn* hasta los suaves relieves de *Tramuntana*. La separación entre estos dos dominios queda definida por una falla axial orientada de ESE-ONO, que recorre toda la isla desde el N de Ciutadella hasta el Port de Maó. De este modo, la estructura de *Tramuntana* refleja principalmente la etapa compresiva desarrollada durante el Oligoceno Superior y el Mioceno Medio, donde encontramos materiales preorogénicos (Paleozoico y Mesozoico), mientras que la estructura del *Migjorn* refleja básicamente la etapa extensiva del Mioceno Superior y Plioceno-Cuaternario, formada básicamente por materiales postorogénicos del Mioceno Superior (Fig. 2).

Así, el *Migjorn* se encuentra dominado por materiales terciarios, siendo fundamentalmente de naturaleza calcárea. Es en gran medida un área plana, que buza suavemente hacia el sur y que geológicamente corresponde a una plataforma carbonática del Mioceno medio y superior que forman un anticlinal muy laxo con el eje orientación N-S (Gelabert, 2003). Destaca su horizontalidad que llega hasta la misma línea de costa, mucho menos articulada que en la opuesta de *Tramuntana*.

Por el contrario, el sector septentrional, *Tramuntana*, se encuentra estructurado en un sistema de láminas cabalgantes que están recubiertas discordantemente por depósitos de edad que pertenecen al Mioceno Superior (Bourrouilh, 1983; Obrador, 1972). Destaca la heterogeneidad del Paleozoico y del Mesozoico, mayoritariamente

con litologías silíceas. Estos materiales se encuentran fallados y plegados por la orogenia alpina. La estructura geológica de la zona de *Tramuntana* consisten en un sistema de fallas extensivas, de orientación NE-SW y NW-SE de edad anterior al Oligoceno superior, plegado, cortado y parcialmente invertido por un sistema de cabalgamientos convergentes Hacia el WNW y que en algunos sectores (el central sobre todo) han combinado las estructuras hercinianos con los movimientos alpinos durante el período comprendido entre el Oligoceno superior y el Mioceno medio (Gelabert, 2003).

De este modo, la estructura de Tramuntana refleja principalmente la etapa compresiva desarrollada durante el Oligoceno superior y el Mioceno medio, mientras que la estructura del Migjorn refleja básicamente una etapa extensiva del Mioceno superior seguida de una compresión de menor escala e intensidad durante el Plio-Cuaternario. (Gelabert, 2003).

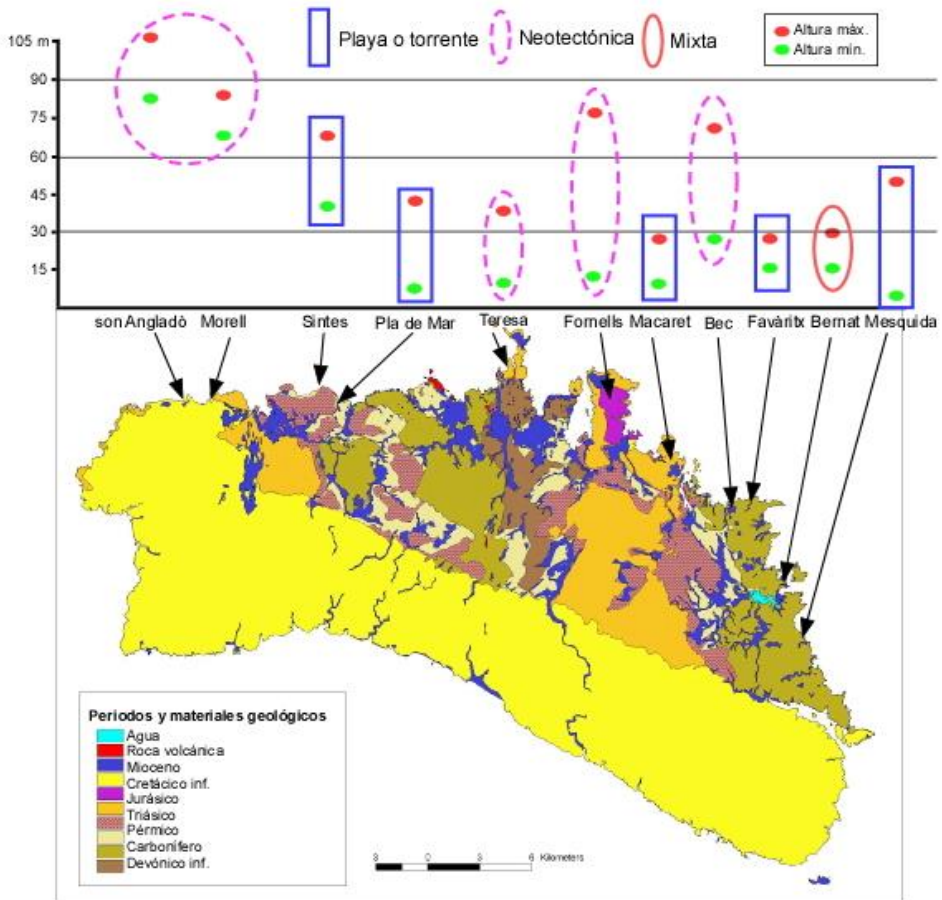


Figura 2. Geología y tipología de los diferentes mantos eólicos. La gráfica representa la altura mínima y máxima entre las que se desarrolla cada manto eólico.

Figure 2. Geology and aeolian sand sheet type. The upper graph shows the Aeolian sand sheet height emplacement.

Figura 3. Sistema de dunas remontantes de Monfogue. Vista oblicua hacia el SW. Fuente: MAGRANA.

Figure 3. Climbing dunes at Mongofre. View to SW. Photo by MAGRANA.



En general, la costa septentrional presenta un alto grado de articulación, con numerosos entrantes que dan lugar al desarrollo de sistemas dunares. El aspecto dominante es el de una costa de acantilados altos. En ocasiones encontramos formaciones del tipo *climbing dunes*, *cliff-top dunes* e incluso, cuando hay un trasvase de arena de una vaguada a otra, encontramos dunas del tipo *falling dune* (Servera, 2003). A esta última tipología destacan por la espectacularidad de las formas remontantes los sistemas de Cala Presili, el sistema dunar de Mongofre (Fig. 3) y el de Cala Pilar.

El carácter acusadamente recortado de la costa septentrional, sobre todo de su segmento central, tiene mucho que ver con la tectónica y con el relieve interior, de tal modo que si el nivel marino subiera 5 m, las calas y aguazales se convertirían en auténticas rías (Rosselló, 2003).

3 | Formación y génesis

La ubicación de los mantos distribuidos de manera regular a lo largo de la costa norte, así como la altura a la que se encuentran, no son hechos casuales, si no que obedece a una serie de factores que han condicionado su génesis y posterior desarrollo. Entre estos factores, tenemos dos: por un lado la posición relativa del nivel del mar y por el otro de tipo geológico.

El nivel del mar, no ha sido constante a lo largo de la historia de la tierra, si no que ha variado de manera notable. Las oscilaciones más recientes nos permiten conocer la complejidad que supone la superposición de varias subidas y descensos del nivel del mar en los últimos 100 ka. La última regresión marina, conocida en ambientes alpinos como Würm, alcanzó su máximo sobre los 17-18 ka., dando lugar a un descenso del NM superior a los 120 m por debajo del nivel del mar actual (Shackleton y Opdyke, 1973; Lambeck y Bard, 2000; Pomar, 2016). A partir de este momento, las condiciones climáticas cambian, dando lugar a una subida del nivel marino. Este comportamiento

continuó hasta alcanzar la posición máxima del NM que se sitúa entre 7.000-6.500 BP. (Goy *et al.*, 1997; Servera y Pons, 2007) y que es conocida como la transgresión Flandriense. En este periodo, el nivel del mar se situó unos 2-3 m por encima del nivel actual (Butzer, 1975; Cuerda, 1989; Ginés 2000; Mateu *et al.*, 2001).

A partir de este momento, en el archipiélago balear, se han registrado al menos dos ascensos más por encima del nivel actual, que han dado como resultado (juntamente con la primera, es decir, el máximo Flandriense) la formación de tres generaciones de campo dunares separados entre ellos por dos capas edáficas (Goy *et al.*, 1997, González-Hernández *et al.*, 2001; Servera y Pons, 2007). La aparición de *Xerocrassa cuerdai*, un molusco extinguido, en una eolianita en el punto más elevado del manto situado en sa Marina de s'Arena, con una datación relativa en torno a 4-5 ka BP, pone de manifiesto al menos una de las pulsaciones antes mencionada. Por su parte, Fornós *et al.* (2007; 2008), sobre el manto eólico de ses Arenes (al Norte de Ciutadella), señalan una intensa actividad eólica en torno al quinto milenio BP en el relleno de una paleo red fluvial.

Asumiendo condiciones de paleo-viento similares a la dirección predominante actual, tenemos las condiciones favorables para el desarrollo de *climbing-dunes* (Ferraz *et al.*, 2011), similares a las explicadas por Servera (2003) (ver Fig. 3). Las condiciones actuales de viento, tienen un marcada componente Norte, tanto en frecuencia como intensidad. Es el viento conocido como Tramuntana. Así un viento sostenido de 30 km/h o más, es más frecuente de esa dirección que la todas las direcciones juntas. Los vientos de más de 60 km/h o superiores, representan el doble de veces de Tramuntana que las otras direcciones juntas (Jansà, 2004).

Por tanto, dado un aporte preexistente de sedimento, la presencia de dunas transgresivas sobre costas rocosas, puede ser asociado con bajadas eustáticas del nivel del mar, que proporcionan sedimento y espacio para la formación de sistemas dunares (Andreucci *et al.*, 2010a).

La formación y génesis también se pueden relacionar con fuertes procesos erosivos producto del impacto mecánico de oleaje, la inestabilidad de la pendiente, bioerosión, etc., también ligado a movimientos verticales del acantilado, afectados por la tectónica reciente (Rosell y Llupart, 2002). Ambos factores posiblemente han actuado de manera conjunta a lo largo del tiempo, pero con diferente efectividad, según el lugar (Roig-Munar *et al.*, 2016).

Un ejemplo de este funcionamiento mixto, lo tenemos en la costa SE de la isla de Mallorca, donde se han cuantificado retrocesos de 175 m en un periodo de 235 ka, sobre un acantilado pleistoceno, por medio de la combinación de procesos erosivos y tectónicos (Fornós *et al.*, 2005). En el caso de Menorca, y sobre materiales paleozoicos, también hay un ejemplo de procesos mixtos, se trata justamente del acantilado situado en el manto eólico de sa Marina de s'Arena. Por un lado, la erosión marina por el impacto de los temporales en la base del acantilado, afectando materiales blandos del carbonífero; y por otro la infiltración de agua que fluidifica las pizarras de la formación carbonífera y favorece el deslizamiento y caída de los materiales duros del Cuaternario. Se trata de un deslizamiento activo de tipo *rock-avalanche* dando lugar al acantilado costero y una componente de flujo que constituye el cuerpo del deslizamiento de 1 km de longitud sumergido en el mar (Roig-Munar *et al.*, 2016). La edad del deslizamiento es desconocida, pero probablemente se inició en un momento donde el nivel del mar era inferior al actual.

Si se observa la batimetría de la costa Norte de Menorca, aparecen morfologías similares de deslizamiento al del ejemplo de sa Marina de s'Arena. Es el caso de son Angladó, donde la cota -35 se encuentra a 1 km del acantilado o en el de sa Mola de Fornells, cuya cota -30 se halla a tan solo 120 m. Por lo tanto, los procesos de neotectónica ligados a la erosión marina, constituyen el otro factor que explican la ubicación de los mantos eólicos sobre acantilados verticales de hasta 50 m, como el caso de la Mola de Fornells o los 76 m de son Angladó.

En el esquema evolutivo de la Fig. 4, se plantea la hipótesis de formación y evolución de los mantos situados sobre los acantilados. En la fase inicial (Fig. 4a), con la máxima subida del nivel del mar en el óptimo Flandriense, tenemos una playa y un sistema dunar. Siguiendo los razonamientos de Servera (1997), González-Hernández *et al.* (2001) y Servera y Pons (2007), tenemos un primer descenso del nivel del mar (Fig. 4b) y por tanto con una mayor disponibilidad de sedimento, una ampliación de la superficie de playa y un sistema dunar más extenso, mientras que la duna del episodio anterior comienza a migrar hacia tierra. Este proceso se puede haber repetido con posterioridad, sedimentando los depósitos anteriores y dando lugar a la presencia de eolianitas, que se sitúan sobre el acantilado. Con posterioridad (Fig. 4c), movimientos verticales, unidos a una intensa erosión en la base del acantilado, dan como consecuencia el desligamiento de la fuente de alimentación del manto y su desconexión de la misma (Fig. 4d).

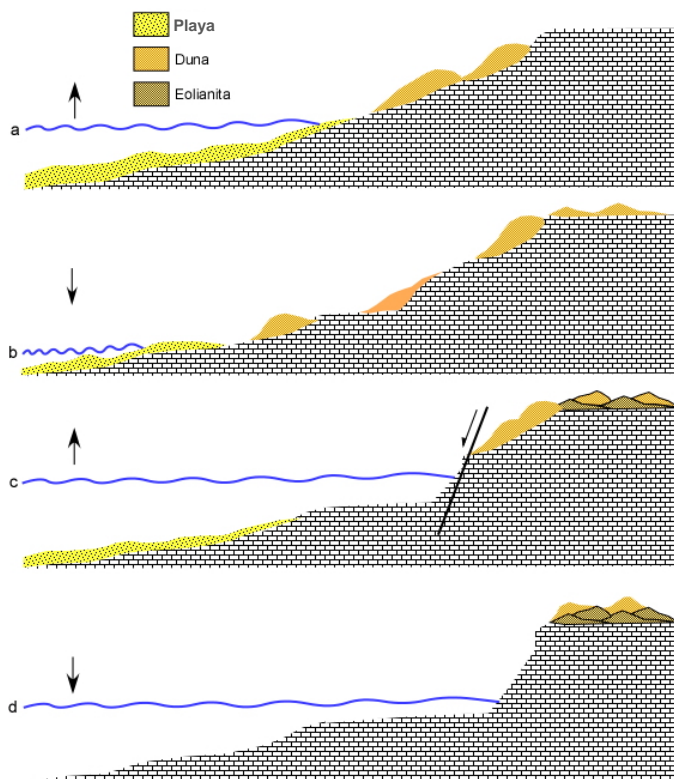


Figura 4. Formación de mantos eólicos vinculados a acantilados.

Figure 4. Aeolian sand sheets formation related to cliffs.



Figura 5. Rampas de eolianitas en el acantilado del manto de Santa Terea. A continuación de la rampa se puede apreciar el acantilado Jurásico. Vista hacia el NE.

Figure 5. Aeolianites ramp attached to the cliff where rests the Santa Teresa aeolian sand-sheet. Rear the cliff-front dunes crops out the Jurassic basement. View to the NE.

Se puede contemplar otra posible explicación sobre la formación de al menos dos mantos eólicos (Santa Teresa y Punta des Pare Fra Bernat). Se trata de la presencia de rampas de eolianitas sobre el acantilado, que con una inclinación entre sobre los 25-30°, pueden haber sido el nexo entre la fuente de alimentación y la cima del acantilado (Fig. 5). En la figura 6 se explica de manera esquemática su evolución a partir de sectores de costa donde la zona sumergida presenta una pendiente suave por la que se canaliza el sedimento y en planta se hallan condicionados por una topografía de salientes hacia el mar, que también ayudan a canalizar el flujo eólico. Procesos similares de formación de eolianitas han ocurrido a lo largo del Pleistoceno sobre acantilados miocenos de Mallorca, con la formación de rampas (Clemmensen *et al.*, 1997; 2001)

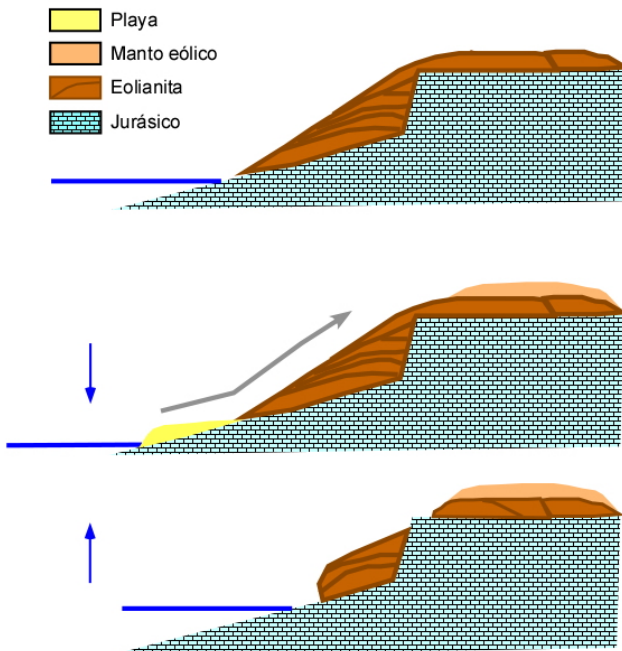


Figura 6. Formación de los mantos eólicos vinculados a acantilados y asociados a rampa. Ejemplo para el manto eólico de Santa Teresa.

Figure 5. Aeolian sand sheet deposition in cliffy settings and related to former sand ramps and cliff-front dunes. Example based in Santa Teresa's aeolian sand-sheet.

4 | Tipología y características

A partir del análisis topológico de todos los perfiles (Fig. 7), podemos observar que básicamente se concentran en tres grupos: por un lado aquellos mantos asociados a acantilados verticales. El segundo grupo se desarrolla a partir de la canalización del sedimento a través del cauce de un torrente sobre materiales carboníferos o triásicos. Finalmente, un tercer grupo vinculado a un torrente, pero en este caso un torrente colgado en su desembocadura (Favàritx y sa Mesquida b y c).

Mantos asociados a acantilados

El primer grupo, está formado por mantos asociados a acantilados verticales de marina i/o carboníferos y corresponden a Son Angladó, Son Morell Nou, Santa Teresa, Mola de Fornells, na Macaret, sa Marina de s'Arena y sa Punta des Fra Bernat (Figs. 2 y 7). El rango de alturas del acantilado está entre los 77 m en son Angladó y los de 10 m en na Macaret, con una altura media de 42 m. La distancia media sobre el acantilado a partir de la cual se desarrollan los mantos de esta tipología es de 148 m, siendo la máxima en la Mola de fornells con 300 m y la mínima en Punta des Pare Fra Bernat, que es de 54 m (Fig. 7). La característica fundamental de este grupo es la verticalidad de todos los acantilados (Fig. 8). En la figura 9, se puede apreciar alguna de las características de estos mantos.

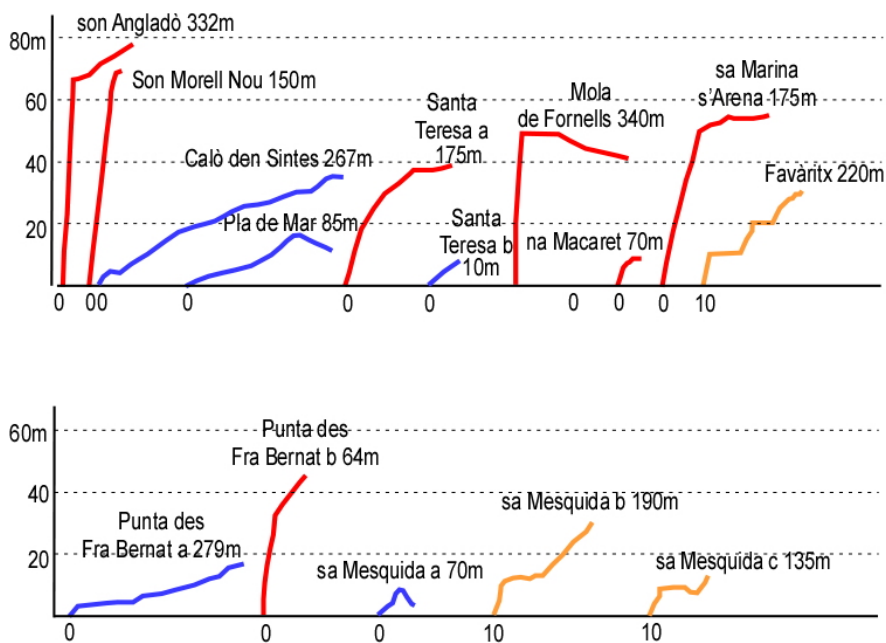


Figura 7. Topología de los diferentes tipos de perfiles de todos los mantos eólicos estudiados. En rojo los vinculados a acantilados y en azul los que se vinculan a torrentes (el dato en metros de cada perfil representa la distancia desde la línea de costa hasta el inicio del depósito, las ordenadas corresponden a la altura topográfica). En naranja, torrentes colgados.

Figure 7. Cliff profile at different locations with aeolian sand sheets. Red profiles indicate those close related to cliffs, in green those influences by streams and in Orange those related to perched streams.



Figura 8. A la izquierda acantilado vertical sobre Mioceno de son Morell Nou. La zona boscosa situa al fondo a la izquierda, corresponde a al ubicación del manto eólico. Vista hacia el SW. Fuente: MAGRANA. Vista oblicua hacia el Sur del acantilado de sa Marina de s'Arena sobre Carbonífero. En el centro se puede apreciar el tono más claro del manto. Fuente: Google Earth.

Figure 8. Left, vertical cliff developed in Miocene rocks at son Morell Nou. The trees that can be appreciated on the plain correspond to the aeolian sand-sheet location. Source: Magrana. Right: Cliff shaped in carboniferous rocks at sa Marina de s'Arena. The yellow colors in the middle of the photo correspondes to the aeolian sand sheet. Source: Google Earth.



Figura 9. A la izquierda manto de Santa Teresa a y a la derecha, manto de na Macaret.

Figure 9. Left, Santa Teresa Aeolian sand sheet. Right: Na Macaret aeolian sand sheet.

Mantos asociados a torrentes

El segundo grupo está formado por aquellos mantos asociados a la vaguada de un torrente, sobre materiales carboníferos o triásicos (Figs. 2 y 7). En este grupo tenemos los mantos del Caló d'en Sintes, Pla de Mar, Santa Teresa b, Punta des Fra Bernat a y sa Mesquida a (Fig. 10). Su formación es similar a la de los mantos situado sobre acantilados, con subidas y bajadas del NM, en el que la vaguada del torrente actúa como canalizador del sedimento hasta la parte más elevada del mismo, donde la fuerza del viento ya no es capaz de transportar más sedimento, quedando finalmente depositado. La distancia a partir de la cual desarrolla el manto eólico para esta tipología es de 142 m de la línea de costa, con una altura media máxima en torno a los 13 m sobre el nivel del mar (la más baja de los tres grupos). La máxima distancia a la que se desarrolla esta tipología es la de Punta des Fra Bernat a, a 279 m y la máxima altura en Caló des Sintes a 36 m (Fig. 7). En la Fig. 11, se puede apreciar alguna de las características de estos mantos.



Figura 10. A la izquierda, situación del manto eólico del Pla de Mar. A la derecha manto en Santa Teresa.

Figure 10. Pla de Mar (left) and Santa Teresa (right) aeolian sand sheet locations.



Figura 11. A la izquierda, manto eólico del Pla de Mar. A la derecha manto en Santa Teresa.

Figure 11. Pla de Mar (left) and Santa Teresa (right) aeolian sand sheet overviews.

Mantos asociados a torrentes colgados

El último grupo, Favàritx (Fig. 12) y sa Mesquida b, c y d corresponde a la tipología de torrentes colgados que se sitúan a una altura media de 10 m sobre el nivel del mar y que por tanto, podría encontrarse en una situación intermedia entre los dos grupos anteriores. La distancia media a la que se desarrolla el manto eólico para este tipo es de aproximadamente 185 m de la línea de costa, con una altura media de 20 sobre el nivel del mar (Fig. 7). En la figura 13, se puede apreciar alguna de las características de estos mantos. Por lo que respecta al sedimento, a falta de un análisis en profundidad del mismo en cuanto a textura y mineralogía, la característica común es la presencia de arenas finas y medias (Fig. 14). También resulta importante el material “reciclado” procedente de eolianitas pleistocenas, que se han ido disgregando por la acción erosiva continuada del viento.

5 | La vegetación de los mantos eólicos

La influencia de los suelos arenosos en la caracterización de la biodiversidad no es una facultad exclusiva de hábitats como los sistemas dunares, sino que también se

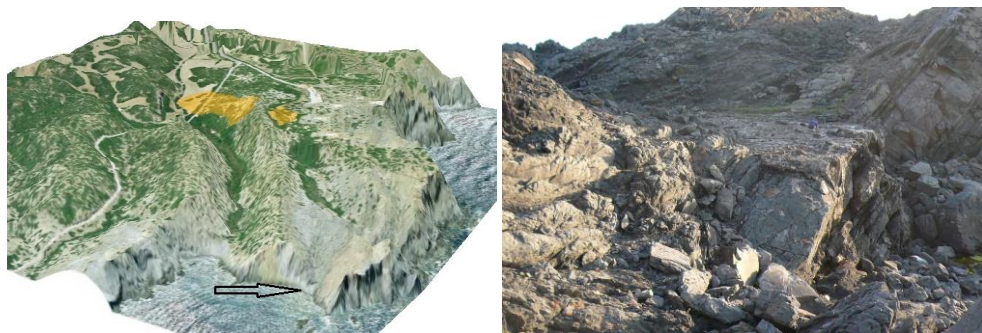


Figura 12. MDT de los mantos eólicos de Favàritx. A la derecha se puede apreciar la altura de desembocadura del torrente que corresponde a la flecha marcada en la figura de la izquierda.
Figura 12. DEM with aeolian sand sheet at Favàritx (left). The arrow indicate the enlarged zone at right image. Detail on the stream mouth (right).

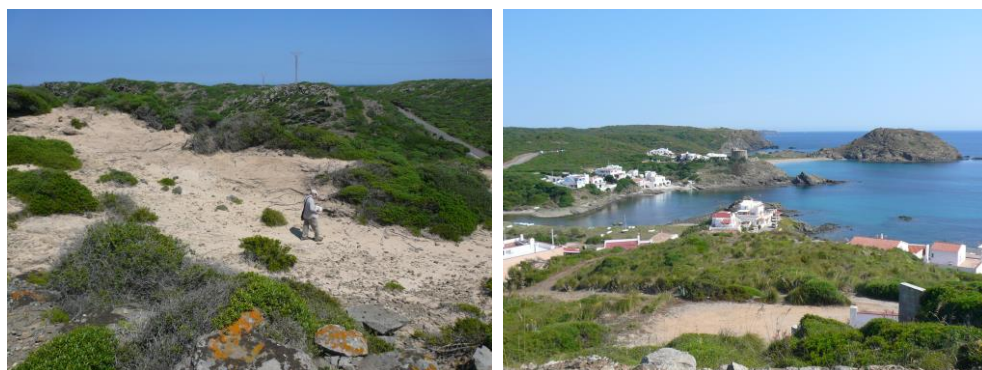


Figura 13. Manto eólico de Favàritx. A la derecha y en primer plano, el manto de sa Mesquida.
Figura 13. Aeolian sand sheets at Favàritx (left) and sa Mesquida (right).

puede producir en otros ambientes, posiblemente menos conocidos. La mayoría de trabajos realizados últimamente en hábitats de suelos arenosos han puesto en evidencia la importancia de estos ambientes y la necesidad de su conservación (Roig-Munar *et al.*, 2008a, 2008b; 2009a; 2009b; 2009c).

El inventario florístico realizado en los 16 mantos eólicos de Menorca dan como resultado global un catálogo florístico de 391 taxones, esto representa aproximadamente un 30% del conjunto de flora vascular de la isla. De este conjunto de taxones vegetales la gran mayoría (48%), sólo aparecen en un máximo de tres mantos eólicos, mientras que un 25% sólo lo hacen en un manto. En el extremo opuesto, 11 taxones se han encontrado en todas las localidades estudiadas. Se debe destacar que ninguna de estas plantas más frecuentes se puede considerar característica o indicadora de suelos arenosos en la isla, pero al mismo tiempo tampoco son estrictamente taxones de ambientes alterados o antropizados. Este hecho pondría en evidencia que estos mantos eólicos, a pesar de estar formados por sustrato alterado por naturaleza, en este caso, se trata de sistemas o formaciones en proceso de estabilización.

Figura 14. Aspecto del sedimento completamente disgregado de sa Marina de s'Arena

Figure 14. Aeolian sand sediments at sa Marina de s'Arena.



Los taxones que mejor caracterizan a los suelos arenosos en Menorca no aparecen hasta el grupo de frecuencia en 10 localidades: *Helichrysum stoechas*, *Juniperus phoenicea*, *Limonium echioides*, *Vulpia ciliata*. En cambio, una planta supuestamente característica de los sistemas dunares de Menorca (*Scrophularia ramosissima*) sólo se ha localizado en cuatro mantos eólicos. Todos estos datos de presencia vienen a confirmar, al menos hasta este punto, que efectivamente, los mantos eólicos estudiados, aunque su origen marino y la constitución arenosa del sustrato, se encuentran ya en una etapa de consolidación avanzada.

En cuanto a los grupos taxonómicos (Tabla 2), concretamente las familias mejor representadas son: gramíneas (44), compuestas (52), leguminosas (45), lo son también para el conjunto de la flora de la isla. En cambio, en las que siguen: cariofiláceas (16), labiadas (14), euforbiáceas (10), liliáceas (10), hay cambios en comparación al conjunto de la flora de Menorca. En los mantos eólicos, las crucíferas desaparecen de esta lista de familias más representadas, mientras que toman protagonismo otros grupos como las cistáceas, que a menudo muestran una cierta especialización para crecer en suelos arenosos pobres. Lo mismo se podría decir por otras familias como las gentianáceas, las plumbagináceas o las orquídeas. Esta especialización de ciertas familias en condiciones edáficas concretas se hace evidente cuando estas muestran concentraciones en mantos eólicos con características particulares.

Familia	Nº taxones	Familia	Nº taxones
Compositae	52	Cistaceae	9
Leguminosae	45	Cyperaceae	8
Graminae	42	Scrophulariaceae	7
Caryophyllaceae	16	Orchiaceae	7
Labiatae	14	Rubiaceae	6
Liliaceae	10	Plumbaginaceae	6
Euphorbiaceae	10	Plantaginaeae	6
Umbelliferae	10	Geraniaceae	6

Tabla 2. Grupos taxonómicos.

Table 2. Taxonomic groups.

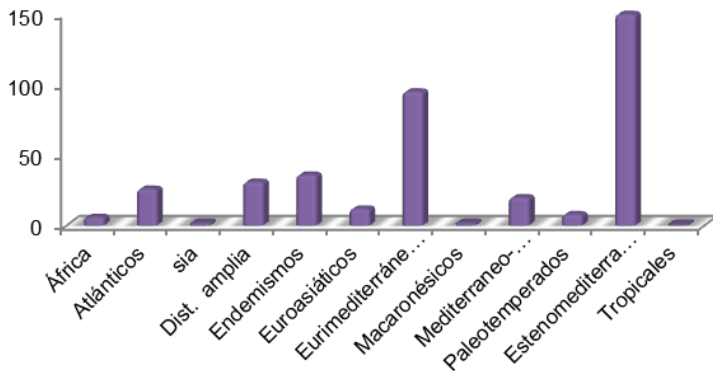


Figura 15.
Biogeografía
Figure 15.
Biogeography

En el caso de las categorías biogeográficas (Fig. 15), la tendencia vuelve a ser coincidente con los resultados obtenidos por el conjunto de la flora de la isla, pero aquí también de una manera exagerada con respecto a los grupos dominantes, esto es los taxones mediterráneos (62%), por tanto, el carácter mediterráneo de estos mantos eólicos queda bien de manifiesto. Sólo en casos concretos, tales como aquellos situados en sustratos silíceos o situaciones más frescas (es Pla de Mar) se observa una mayor representación de grupos como los atlánticos o euromediterráneos.

En cuanto a los endemismos, aparecen mejor representados en mantos eólicos caracterizados por su extensión y la progresión hacia el interior (Mola de Fornells, Na Macaret). Otro resultado que proporciona información es la importancia de los taxones atlánticos en mantos eólicos caracterizados por la presencia de hábitats húmedos (Sa Mesquida).

El espectro de las formas vitales es también bastante coincidente con el que se obtiene para el conjunto de la flora de Menorca (Fig. 16). Predominan claramente los terófitos (44%) y los otros grupos se sitúan a bastante distancia con unos valores bastante similares entre ellos. Así por ejemplo, los terófitos muestran un valores sensiblemente más bajos en aquellos de extensión más reducida y con una mayor predominio de la vegetación arborecente (Caló de en Sintes). El caso contrario, los terófitos están aún mejor representados, en aquellas localidades donde el manto eólico está más alterado (presencia de tierras cultivo: Santa Teresa, Son Morell, Son Angladó).

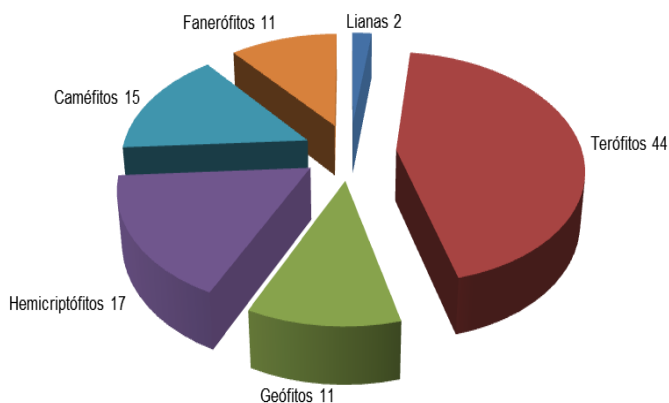


Figura 16. Formas vitales de las plantas presentes en los mantos eólicos de Menorca.
Figure 15. Vital forms of the plants present at the Menorcan aeolian sand sheets.

6 | Paleontología

Algunos de los mantos eólicos estudiados cuentan con moluscos terrestres fósiles. Gasull (1963) describe una nueva especie del Cuaternario, *Xerocrassa cuer dai*, un endemismo exclusivo de Menorca, hallada en un duna wurmiense, en unos limos amarillos, situada frente al mar en dos localidades próximas (Sa Mesquida y Cap Negre), localidades que se corresponderían con el manto eólico de sa Mesquida (vid. Vicens y Pons, en este mismo volumen).

Con posterioridad Quintana (1995) aporta nuevos datos sobre la especie, así como otras localidades y sus asociaciones malacológicas con los endemismos que perduran hasta la actualidad y presentes en distintos mantos eólicos: *Tudorella ferruginea*, *Iberellus companyonii*, *Xerocrassa nyeli*, *Oxychilus lentiformis*. A estas localidades añadiría na Macaret. Además, en la prospección y cartografía de los mantos eólicos de Menorca, hemos incorporado dos localidades más: sa Marina de s'Arena y Favàritx.

Xerocrassa cuer dai no se ha encontrado, hasta el momento, ni en los sedimentos continentales del mioceno superior de Punta Nati-Cala's Pous, ni en los sedimentos pleistocénicos más antiguos de la isla, es decir, los existentes en Cap de Cavalleria, Cap de Fornells o Sivinar de Mongofra, entre otros (Mercadal et al., 1970). Sí aparece, sin embargo, en los depósitos dunares más modernos, acompañado, en ocasiones, de *Chondrula gymnesica*, especie que tuvo su máximo desarrollo durante el interglaciar Riss-Würm y que debió desaparecer al comienzo de la última glaciación (Mercadal et al., 1970). Esta especie se encuentra generalmente asociada a sedimentos dunares costeros (Gasull, 1963; Quintana, 1995), siendo rara en cuevas. En Es Pas d'en Revull, una localidad interior, sólo se han encontrado unos pocos ejemplares. Resulta ser una especie muy interesante, endémica de Menorca, extinguida de la isla posiblemente en tiempos prehistóricos (Quintana, 2001).

De esta manera, mientras *Xerocrassa cuer dai* no sea encontrada en los sedimentos del mioceno superior o en el pleistoceno más antiguo de la isla, el límite temporal de esta especie puede situarse, por su asociación a *Chondrula gymnesica*, en el Riss o el interglaciar Riss-Würm. Su distribución temporal superior también es dudosa, aunque es posible que esta especie haya perdurado hasta tiempos muy recientes, como lo demuestran los ejemplares subfósiles de Binimel.là, El Pilar o Punta Nati - Cala's Pous. En una cueva de esta última localidad, *Xerocrassa cuer dai* se ha encontrado asociada a restos subfósiles de *Myotragus balearicus*; existen pruebas de que en Mallorca este mamífero se extinguió más allá del segundo milenio aC (Bover y Alcover, 2003). Tanto *Xerocrassa cuer dai* como *Myotragus balearicus* no fueron depositados en el interior de la cavidad de forma coetánea, por lo que es muy posible que este gasterópodo hubiese incluso perdurado algún tiempo después de la extinción de *Myotragus*.

7 | Conclusiones

Se han analizado un total de 16 mantos eólicos distribuidos a lo largo de la costa Norte de Menorca ocupando una superficie aproximada de 4.936.387 m². Teniendo en cuenta que el manto de la Mola de Fornells se extiende a lo largo de 4.133.310 m², la superficie media es de 362.535 m². Hay que comentar que, aunque se han estudiado un total de once mantos eólicos, desde el inicio del estudio hasta la fecha, aunque se han encontrado algún manto más, de pequeñas dimensiones, todos ellos localizados

en la costa norte. Las alturas máximas y mínimas medias entre las que se desarrolla el manto eólico son de 15 y 9 m respectivamente, siendo la máxima a son Angladó y la mínima en Santa Teresa b, con 106 y 1.9 m respectivamente. La mayoría de los mantos se encuentran depositados sobre materiales mesozoicos (Caló d'en Sintes, Pla de Mar, Santa Teresa, Mola de Fornells y na Macaret), el resto lo hacen sobre Paleozoico (sa Marina de s'arena, Favàritx, Punta des Fra Bernat y sa Mesquida) y sobre Cenozoico (son Angladó y son Morell Nou).

Podemos distinguir tres tipologías principales: mantos eólicos vinculados a acantilados verticales, a vaguadas de torrentes y el tercer grupo se corresponde con torrentes colgados, que vendría a ser una situación intermedia entre los dos primeros.

Los procesos erosivos de los acantilados por la acción mecánica del oleaje, acompañados o no por fracturas verticales (neotectónica) han jugado un papel importante en la génesis y formación de los mantos, al igual que los movimientos eustáticos del nivel del mar durante el Holoceno. En cualquier caso, los factores que parecen condicionar el desarrollo de los mantos eólicos en la costa Norte de Menorca son: exposición subaérea de sedimento, cambios en el nivel el mar, movimientos verticales el terreno, erosión marina y vientos litorales capaces de transportar sedimento.

En cuanto al aspecto florístico y de vegetación del estudio de los mantos eólicos, en general, predomina un tipo de vegetación o comunidades vegetales más características de suelos estables, pero a la vez, en la gran mayoría de ellos es posible identificar especies o comunidades que los relacionan claramente con los suelos arenosos del litoral. Como en el caso de los sistemas dunares, los endemismos vegetales son relativamente frecuentes, en algunos casos, con un cierto nivel de especialización.

El presente estudio ahonda en un conjunto de sistemas eólicos subactuales apenas abordados en la literatura científica, aunque quedan muchos aspectos por profundizar y hábitat prioritario de la Directiva Hàbitats, no descrito en Menorca. Entre otros, explicar la total ausencia de este tipo de mantos eólicos en el sur de la isla de Menorca.

Agradecimientos

El presente trabajo fue fruto de una beca de investigación del *Institut Menorquí d'Estudis* (IME) hacia la *Societat d'Història Natural de les Balears* (G.X. Pons coordinador). También ha sido posible gracias a la ayuda del proyecto "Crisis y reestructuración de los espacios turísticos del litoral español" (CS02015-64468-P) del Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) y del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

Bibliografía

- Abegg, F.E., Loope, D.B. & Harris, P.M. (Eds.) (2001): Carbonate eolianites-Depositional models and diagenesis. *SEPM Special Publication*, 71: 17-30.
- Alcover, J.A. (2004): Disentangling the Balearic first settlement issues. *Endins*, 26: 143-156.
- Andreucci, S. Pascucci, V. & Clemmensen L.B. (2006): Upper Pleistocene coastal deposits of West Sardinia: a record of sealevel and climatic change. *GeoActa*, 5: 79-96.
- Andreucci, S. Pascucci, V., Murray, A. y Clemmensen L.B. (2009): Late Pleistocene coastal evolution of San Giovanni di Sinis, west Sardinia (Western Mediterranean). *Sedimentary Geology*, 216: 104-116.

- Andreucci, S, Clemmensen, L.B. y Pascucci, V. (2010a): Transgressive dune formation along a cliffed coast at 75 kyr in Sardinia, Western Mediterranean: a record of sea-level fall and increased windiness. *Terra Nova*, 22 (6): 424-433.
- Andreucci, S, Clemmensen, L.B.; Murray, A.S. y Pascucci, V. (2010b): Middle to late Pleistocene coastal deposits of Alghero, northwest Sardinia (Italy): Chronology and evolution. *Quaternary International*, 222: 3-16.
- Bourrouilh, R. 1983. Stratigraphie, sédimentologie et tectonique de île de Minorque et du Nord-Est de Majorque (Baléares). La terminaison Nord-orientale des Cordillères Bétiques en Méditerranée occidentale. *Memorias del Instituto Geológico y Minero de España*, 99: 1-672
- Bover, P. y Alcover, J.A. 2003. Understanding Late Quaternary Extinctions: The Case of *Myotragus balearicus* (Bate, 1909). *Journal of Biogeography*, 30 (5): 771-781.
- Brooke, B. (2001): The distribution of carbonate eolianite. *Earth-Science Reviews*, 55: 135-164.
- Butzer, K.W. (1975): Pleistocene littoral-sedimentary cycles of the Mediterranean Basin: a Mallorcan view. En: Butzer, K.W., Isaac, G. (Eds.), *After the Australopithecines*: 25-71. Moulton Press, The Hague.
- Carew, J.L. y Mylroie, J.E. (2001): Quaternary carbonate eolianites of the Bahamas: Useful analogues for the interpretation of ancient rocks? En: Abegg, F.E., Harris, P.M. y Loope, D.B., *Modern and Ancient Carbonate Eolianites: Sedimentology, Sequence Stratigraphy and Diagenesis*. SEPM Special Publication 71: 33-45.
- Clemmensen, L.B. Fornós, J.J. & Rodríguez-Perea, A. (1997): Morphology and architecture of late Pleistocene cliff-front dune, Mallorca, Western Mediterranean. *Terra Nova*, 9: 251-254.
- Clemmensen, L.B. Lisborg, T.; Fornós, J.J. y Bromley, R. (2001): Cliff-front Aeolian and colluvial deposits, Mallorca, Western Mediterranean: a record of climatic and environmental change during the last glacial period. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, 48: 217-232.
- Coltori, M., Melis, E. y Patta, D. (2010): Geomorphology, stratigraphy and facies analysis of some Late Pleistocene and Holocene key deposits along the coast of Sardinia. *Quaternary International*, 222: 17-18.
- Cuerda, J. (1989): *Los tiempos cuaternarios en Baleares*. (segunda edición). Dir. Gral. Cultura, Conselleria de Cultura, Eduació i Esports. Govern Balear. Mallorca.
- Ferraz, M., Cowell, P., v Rebelo, L., (2011). Coastal-change estimates inferred from remnant cliff-top dunes. *Journal of Coastal Research*, SI 64:661-665.
- Fornós, J.J., Balaguer, P., Gelabert, B. y Gómez-Pujol, L. (2005): Pleistocene formation, evolution and retreat rates of a carbonate coastal cliff (Mallorca Island, Western Mediterranean). *Journal of Coastal Research*, SI49:15-21.
- Fornós, J.J., Gómez-Pujol, L., Rosselló, V. M., Segura, F., Pardo, J. y van Strydonck, M. (2007): El mantell eòlic de ses Arenes (Ciutadella de Menorca): dades preliminars i primeres datacions. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 50: 227-237.
- Fornós, J.J., Gómez-Pujol, L.L., Rosselló, V.M^a, Segura, F. y Pardo, J.E. (2008): El sistema eòlic de ses Arenes (Ciutadella de Menorca). En Pons, G. X. (ed.), *V Jornades del Medi Ambient de les Illes Balears*. SHNB, 72-76. Palma, Societat d'Història Natural de les Balears.
- Fornós, J. J., Clemmensen, L.B., Gómez-Pujol, L., y Murray, A. S. (2009): Late Pleistocene carbonate aeolianites on Mallorca, Western Mediterranean: a luminescence chronology. *Quaternary Science Reviews* 28: 2697-2709.
- Fornós, J. J., Clemmensen, L.B., Gómez-Pujol, L., Ginés, A y Ginés, J. (2012): Pleistocene eolianites and low sea levels. En Ginés, A., Ginés, J., Gómez-Pujol, L., Onac, B.P. & Fornós, J.J. (eds). *Mallorca: A Mediterranean Benchmark for Quaternary Studies*, Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 18, 85-110. Palma, Societat d'Història Natural de les Balears.
- Fraga, P., Roig-Munar, F. X., Martín-Prieto, J A. Pons, G. X. y Rodríguez, A. (2012): La flora vascular dels mants eòlics de Menorca: diversitat florística i anàlisis estadístiques. *Reneix Document Tècnic* 1. Maó, Institut Menorquí d'Estudis, IME.
- Frechen, M., Neber, A., Tsatskin, A., Boenigk, W. y Ronen, A. (2004): Chronology of Pleistocene sedimentary cycles in the Carmen Coastal Plain of Israel. *Quaternary International*, 121: 41-52.

- Gasull, L. (1963): Descripción de unas nuevas formas del género *Helicella* (*Xeroplexa*) de Baleares. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 9: 83-92.
- Gelabert, B. (2003): La estructura geológica de Menorca: las zonas de Tramuntana y Migjorn. En Rosselló, V.M., Fornós, J.J. y Gómez-Pujol, L. (eds). 2003. *Introducción a la Geografía Física de Menorca*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 10: 39-48. Palma, AGE, Universitat de València, Societat d'Història Natural de les Balears.
- Ginés, J. (2000): *El karst litoral en el Levante de Mallorca: una aproximación al conocimiento de su morfogénesis y cronología*. Tesis Doctoral. Dep. Ciències de la Terra, UIB.
- González-Hernández, F. M., Goy, J. L., Zazo, C. y Silva, P. G. (2001): Actividad eólica – cambios del nivel del mar durante los últimos 170.000 años (litoral de Mallorca, Islas Baleares). *Rev. Cuaternario & Geomorfología*, 15 (3-4), 67-75.
- Goy, J. L., Zazo, C. y Cuerda, J. (1997): Evolución de las áreas margino-litorales de la costa de Mallorca (I. Baleares) durante el último y presente interglaciar: nivel del mar holoceno y clima. *Bol. Geológico y Minero*, 108 (4-5): 455-463.
- Jansà, A. (2004): El clima del Migjorn. En Fornós, J. J., Obrador, A. y Rosselló, V. M. (eds), *Història Natural del Migjorn de Menorca: el medi físic i l'íflux humà*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears 11: 39-52. Palma, Insititut Menorquí d'Estudis, Societat d'Història Natural de les Balears.
- Kindler, P. y Mazzolini, D. (2001) Sedimentology and petrography of dredged carbonate sands from Stocking Island (Bahamas). Implications for meteoric diagenesis and aeolianite formation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 175: 369-379.
- Lambeck, K. y Bard, E. (2000): Sea-level change along the French Mediterranean coast for the last 30.000 years. *Earth Planet. Sci. Letters* 175: 203-222.
- Mateu, G.; Viñals, M. J.; Moreiro, M y Nadal, G. (2001): La Transgresión Flandriense a través de los foraminíferos bentónicos del Mar Balear. En Pons, G. X. y Guijarro, J. A. (eds). *El canvi climàtic: passat, present i futur*. Monografies de la Societat d'Història natural de les Balears 9: 13-32. Palma, Societat d'Història Natural de les Balears.
- Mercadal, B., Villalta, J.F., Obrador, A. y Rosell, J. (1970): Nueva aportación al conocimiento del Cuaternario menorquín. *Acta Geol. Hisp.*, 5 (4): 89-93,
- Obrador, A. (1972): *Estudio estratigráfico y sedimentológico dde los materiales Miocenos de la Isla de Menorca*. Rev. De Menorca, 183 pp.
- Pomar, F. (2016): *Arquitectura i fàcies deposicionals de la interferència entre la sedimentació al·luvial, col·luvial i eòlica a les illes balears durant el pleistocè superior: implicacions paleoclimàtiques*. Tesis Doctoral. Dept. Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears.
- Pons, G. X., Martín-Prieto, J.A., Roig-Munar, F.X., Fraga, P., Rodríguez-Perea, A., Gelabert, B y Mir-Gual, M. (2012): Mantos eólicos de Menorca (Islas Baleares). En González-Díez, A. (Coord.), *Avances de la Geomorfología en España. Actas de la XII Reunión Nacional de Geomorfología*: 367-370. Santander, Universidad de Cantabria.
- Pons, G.X., Vicens, D. y Mir-Gual, M. (2017): Aproximación al inventario de yacimientos del Cuaternario en el litoral de Menorca (*Illes Balears*). En: Carcavilla, L., Duque-Macías, J., Giménez, J., Hilario, A., Monge-Ganuzas, M., Vegas, J. y Rodríguez, A. Patrimonio geológico, gestionando la parte abiótica del patrimonio natural. *Cuadernos del Museu Geominero*, 21: 75-80.
- Quintana, J. (1995). Nuevas localidades con *Xeroplexa cuerdae* (Gasull, 1963) (Gastropoda: Pulmonata). *Rev de Men.*, 27-39.
- Quintana, J. (2001). Fauna malacológica presente en los sedimentos holocénicos del Barranc d'Algendar (Ferrerries, Menorca). *Spira*, 1(1): 33-40.
- Roig-Munar, F.X., Martín-Prieto, J.A., Fraga, P. y Pons, G.X. (2008a): Descripció del sistema dunar de l'arenal de Sant Jordi (Cala en Calderer, nord de Menorca), Illes Balears. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 51: 117-130.
- Roig-Munar, F.X., Martín-Prieto, J.A., Fraga, P. y Rodríguez-Perea, A. (2008b): Descripció geoambiental del dipòsit eòlic de Sa Marina de s'Arena (nord de Menorca, Illes Balears). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 51: 103-116.

- Roig-Munar, F.X., Rodríguez-Perea, A., Martín-Prieto, J.A., Pons, G.X. y Fraga, P. (2009a): El sistema de dunes remuntants de Sant Llorenç (Trebalúger, Sud Menorca, Illes Balears). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 52: 141-154.
- Roig-Munar, F.X., Rodríguez-Perea, A., Martín-Prieto, J.A., Pons, G.X. y Fraga, P. (2009b): El sistema platja-duna de cala Escorxada (Sud Menorca, Illes Balears). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 52: 155-168.
- Roig-Munar, F.X., Fraga, P., Martín-Prieto, J.A., Pons, G.X. y Rodríguez-Perea, A. (2009c): Fixació i estabilització de sistemes dunars a les Illes Balears per processos de forestació: el cas de Menorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 52: 129-140.
- Rosell, J. y Llompart, C. (2002): *El naixement d'una Illa, Menorca. Guia de geologia pràctica*. Maó, Institut Menorquí d'Estudis.
- Roselló, V. M. (2003): Geomorfología general de Menorca. En Rosselló, V.M., Fornós, J.J. y Gómez-Pujol, L. (eds). 2003. *Introducción a la Geografía Física de Menorca*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 10: 49-64. Palma, AGE, Universitat de València, Societat d'Història Natural de les Balears.
- Servera, J. (1997): Els sistemes dunars litorals a les Illes Balears. Tesi Dcotoral, Dept. Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. 904 pp. 2 vols.
- Servera, J. (2003): Los sistemas playa-duna holocenos y actuales de Menorca. En Rosselló, V.M., Fornós, J.J. y Gómez-Pujol, L. (eds). 2003. *Introducción a la Geografía Física de Menorca*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 10: 123-138.
- Servera, J. y Pons, G. X. (2007): Trets mineralògics y textural e la seqüència dunar holocena de la depressió de Campos (Mallorca). En Pons, G. X. y Vicens, D. (eds.), *Geomorfologia litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears 14: 353-374. Palma, Societat d'Història Natural de les Balears.
- Shackleton, N.J. y Opdyke, N.D. (1973): Oxygen isotope and paleomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific Core V28-238: oxygen isotope temperatures and ice volume on a 105 year and 106 year scale. *Quaternary Research*, 3: 39-55.